

Variasi Morfometri dan Patogenisitas *Peronosclerospora* spp. Penyebab Penyakit Bulai Jagung di Pulau Jawa, Indonesia

Morphometric and Pathogenicity Variation of *Peronosclerospora* spp. The Causal Agent of Maize Downy Mildew in Java Island, Indonesia

Satriyo Restu Adhi¹, Fitri Widiyanti^{2*}, Endah Yulia²

¹Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang 41361

²Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363

ABSTRAK

Kehilangan hasil akibat penyakit bulai, yang disebabkan oleh *Peronosclerospora* spp. di beberapa sentra penanaman jagung di Pulau Jawa telah dilaporkan. Penelitian dilakukan untuk menentukan karakteristik morfometri dan tingkat patogenisitas strain *Peronosclerospora*. Sepuluh strain *Peronosclerospora* spp. berasal dari sentra produksi jagung, yaitu Blitar (BLT), Kediri (KDR), Kediri 2 (KDR2), Klaten (KLT), Cianjur (CJR), Garut (GRT), Jatinangor Sumedang (JTN), Rancakalong Sumedang (RCG), Indramayu (IMY), dan Sukabumi (SKB). Variasi morfometri diperoleh melalui pengamatan secara mikroskopis dengan melihat bentuk konidium, mengukur ketebalan dinding sel, panjang konidiofor, konidium dan konidiofor, serta menghitung jumlah cabang dan percabangan. Tingkat patogenisitas ditetapkan dengan cara menghitung persentase insidensi penyakit pada tanaman jagung. Hasil penelitian menunjukkan morfometri dan tingkat patogenisitas strain yang beragam. Analisis dendrogram berdasarkan karakter morfometri memisahkan strain *Peronosclerospora* menjadi dua klaster utama. Strain KDR2 merupakan spesies *P. philippinensis* karena identik dengan strain rujukan, yaitu *P. philippinensis* yang berada pada satu klaster; sedangkan strain-strain lain teridentifikasi sebagai *P. maydis* karena identik dengan spesies rujukan *P. maydis* dan membentuk satu klaster lain. Berdasarkan uji patogenisitas, strain IMY menyebabkan insidensi penyakit terendah (8.33%) dan strain KLT menyebabkan insidensi penyakit tertinggi (47.92%).

Kata kunci: analisis dendrogram, insidensi penyakit, klaster, konidiofor, konidium

ABSTRACT

Downy mildew disease in maize caused by *Peronosclerospora* spp. has been reported to cause yield loss in several production centers in Java. This study aimed to determine the morphometric characteristics and pathogenicity of *Peronosclerospora* spp.. Ten strains of *Peronosclerospora* were collected from maize production center in Blitar (BLT), Kediri (KDR), Kediri 2 (KDR2), Klaten (KLT), Cianjur (CJR), Garut (GRT), Jatinangor Sumedang (JTN), Rancakalong Sumedang (RCG), Indramayu (IMY), and Sukabumi (SKB). Morphometric variation was determined using microscope by observing shape of conidium; measuring cell wall thickness, length of conidiophores, dimensions of conidia; and counting the number of branches. Differences in morphology and pathogenicity between strains was evidenced. Dendrogram analysis based on morphometric characters differentiated strains of *Peronosclerospora* into 2 main clusters. One strain, KDR2 is in the same group and identical with reference strain *P. philippinensis*; while the others are in the same group and identical with reference

*Alamat penulis korespondensi: Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran, Jatinangor, Jln. Bandung Sumedang KM 21, Jatinangor 45363.
Tel: +6222 7796316, Faks: +6222 7796316, Surel: fitri.widiyanti@unpad.ac.id

strain *P. maydis*. Pathogenicity test showed that IMY strain caused the lowest disease incidence (8.33%) and KLT strain caused the highest disease incidence (47.92%).

Keywords: cluster, conidia, conidiophores, dendrogram analysis, diseases incidence

PENDAHULUAN

Penyakit bulai merupakan salah satu penyakit penting tanaman jagung yang disebabkan oleh *Peronosclerospora* spp.. Di Indonesia, penyakit bulai menyebabkan kehilangan hasil hingga 100% pada tanaman jagung yang rentan (Muis *et al.* 2018). Tingginya kehilangan hasil jagung akibat infeksi penyakit bulai, dikarenakan bulai mampu memengaruhi perkembangan tanaman pada stadium vegetatif maupun generatif (Rustiani 2015). Tiga spesies *Peronosclerospora* yang dapat ditemukan di beberapa daerah Indonesia yaitu *P. maydis*, *P. philippinensis*, dan *P. sorghi* (Rustiani *et al.* 2015; Muis *et al.* 2016). Penyakit bulai dapat menular dan menyebar melalui benih, terbawa angin dan melalui tanah dengan oospora sebagai sumber inokulum pada *P. sorghi* (Bonde 1982; Muis *et al.* 2018).

Salah satu sentra produksi jagung di Indonesia ialah Pulau Jawa. Pulau Jawa menyumbang sebesar 48.4% dari total kontribusi produksi jagung nasional, dengan rincian 27.7% dari Jawa Timur; 15.0% dari Jawa Tengah; dan 5.7% dari Jawa Barat (Pusdatin 2017). Kehilangan hasil produksi jagung akibat infeksi *Peronosclerospora* terbesar terdapat di Provinsi Jawa Timur dengan luas infeksi tertinggi sebesar 1486.5 ha; diikuti dengan Jawa Tengah dan Jawa Barat dengan luas infeksi lebih dari 100 ha (BBPOPT 2018).

Langkah awal usaha pengendalian penyakit tanaman dapat dilakukan dengan mengidentifikasi terlebih dahulu karakteristik yang dimiliki oleh patogen penyebab penyakit. Salah satu metode identifikasi patogen dapat dilakukan dengan melihat karakteristik morfologi (bentuk) hingga ukuran (morfometri) (Hyde *et al.* 2011). Melalui karakteristik morfologi dan morfometri, informasi mengenai perbedaan

antarstrain, jenis, dan forma spesies akan dapat dibedakan (Kumar *et al.* 2016). Hal ini dilaporkan oleh Widiyanti *et al.* (2015) yang menemukan strain *Peronosclerospora* spp. asal beberapa lokasi di Pulau Jawa memiliki perbedaan dan variasi dari ukuran dimensi konidium dan konidiofor. Bock *et al.* (2000) juga melaporkan terdapat hubungan antara perbedaan variasi dari morfologi dan tingkat patogenitas strain-strain *P. sorghi* asal sembilan negara di Afrika.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik morfometri dan tingkat patogenitas strain *Peronosclerospora* yang diambil dari beberapa lokasi sentra produksi jagung Pulau Jawa. Hasil penelitian yang didapatkan berguna untuk melengkapi data sebaran spesies *Peronosclerospora* di Indonesia disertai dengan tingkat patogenitas dari masing-masing strainnya sehingga dapat dijadikan salah satu landasan dalam pengendalian penyakit bulai tanaman jagung.

BAHAN DAN METODE

Pengambilan Sampel

Sampel strain *Peronosclerospora* diambil dari sembilan daerah sentra produksi jagung di Pulau Jawa pada bulan Januari – September 2019. Pengambilan sampel menggunakan metode *purposive sampling* yang didasarkan pada ada atau tidaknya insidensi penyakit pada sentra produksi jagung di Cianjur, Garut, Indramayu, Sukabumi, Sumedang, Klaten, Kediri, dan Blitar. Sampel yang digunakan sebagai sumber strain berasal dari daun jagung yang menunjukkan gejala sistemik berupa klorosis bergaris sejajar dengan tulang daun dan terdapat tanda berupa propagul masa konidium di bawah atau di atas permukaan daun. Daun jagung yang dipilih adalah daun pucuk hingga daun ke lima. Sampel yang diperoleh dari lapangan, disimpan dalam plastik bening tertutup dengan tangkai daun

dibalut kertas tisu basah untuk menjaga kelembapan agar daun tetap segar saat dilakukan induksi sporulasi buatan.

Karakterisasi Morfologi

Tahapan awal untuk mengkarakterisasi morfologi strain *Peronosclerospora* spp. adalah dengan melakukan induksi sporulasi buatan. Pembentukan spora *Peronosclerospora* spp. diinisiasi menggunakan metode dari Burhanuddin (2011) yang dimodifikasi. Bagian permukaan sampel daun jagung terinfeksi dicuci menggunakan air bersih kemudian dikeringanginkan. Selanjutnya, daun diletakkan di dalam gelas berisi larutan sukrosa 3% hingga bagian pangkalnya terendam setinggi 2 cm.

Selanjutnya, daun dimasukkan ke dalam plastik sungkup jenis PP (*poly propylene*) dengan posisi pangkal daun berada di bawah. Daun yang tersungkup selanjutnya diletakkan pada ruangan terbuka dengan keadaan gelap selama semalaman ($\pm 6-12$ jam) untuk memacu terjadinya sporulasi. Sporulasi akan terjadi pada daun yang lembap, dan keadaan gelap dengan suhu optimum 18–23 °C (Bonde *et al.* 1992). Pada pagi hari (mulai pukul 04.00) daun dikeluarkan dari plastik sungkup dan diamati ada atau tidaknya masa konidium yang terbentuk.

Masa konidium yang terbentuk pada daun ditandai dengan adanya lapisan berwarna putih seperti tepung. Konidium yang berhasil terbentuk diambil menggunakan plastik selotip bening, kemudian ditempelkan pada gelas objek yang sudah diberi satu tetes larutan pewarna *methylene blue* 2%. Sisi tepi plastik selotip pada gelas objek selanjutnya diberi kuteks berwarna bening untuk mencegah terjadinya kering pada preparat dan untuk disimpan lebih lama (Hikmawati *et al.* 2011; Widiyanti *et al.* 2015).

Uji Patogenisitas

Tanaman inang yang digunakan dalam uji patogenisitas ialah benih jagung varietas Bisma yang memiliki sifat rentan terhadap penyakit bulai (Aqil *et al.* 2012). Persiapan tanaman inang diawali dengan mengecambahkan benih

jagung pada kotak plastik yang sudah dialasi dengan kertas tisu basah. Benih berumur 3–5 hari dan sudah berkecambah digunakan untuk uji patogenisitas dengan inokulasi buatan.

Inokulasi buatan *Peronosclerospora* spp. dilakukan dengan menyemprotkan suspensi konidium bulai dengan kerapatan $\pm 10^5-10^8$ konidium mL⁻¹ pada kecambah jagung (Adhi *et al.* 2019). Kemudian, kecambah disisipkan di antara potongan daun jagung terinfeksi bulai pada kotak plastik yang sudah dialasi dengan kertas tisu lembap. Selanjutnya kotak plastik dibungkus menggunakan plastik hitam dan diinkubasi pada suhu ruang selama 3–7 hari. Setelah itu, kecambah ditanam dalam *polybag* ukuran 3 kg berisi media tanam 2 kg tanah : 1 kg sekam bakar dan diletakkan ke dalam rumah kaca.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak kelompok (RAK) pola sederhana. Perlakuan dalam percobaan ini berjumlah sepuluh, terdiri atas sembilan perlakuan strain *Peronosclerospora* spp. asal sentra produksi jagung di Pulau Jawa dan satu perlakuan tanpa inokulasi. Setiap unit perlakuan diulang sebanyak 6 kali sehingga didapatkan 60 unit percobaan. Masing-masing unit percobaan terdapat 8 tanaman jagung.

Pengamatan

Pengamatan morfometri setiap strain diawali dengan melihat bentuk morfologi secara mikroskopis. Pengamatan dilakukan pada 30 konidium dan 30 konidiofor untuk masing-masing strain. Parameter yang diamati ialah bentuk, ketebalan dinding sel, dimensi konidium dan konidiofor, serta jumlah cabang dan percabangan (Widiyanti *et al.* 2017). Di Indonesia terdapat tiga spesies *Peronosclerospora*, yaitu *P. maydis*, *P. philippinensis*, dan *P. sorghi* dengan karakteristik morfologi yang berbeda satu sama lain (Muis *et al.* 2018).

Pengamatan tingkat patogenisitas strain dilakukan pada 7–35 hari setelah tanam (HST). Penentuan waktu didasarkan pada periode kritis tanaman jagung terhadap penyakit bulai, yaitu antara 1 dan 5 minggu setelah tanam (MST) (Muis *et al.* 2018). Pengamatan

dilakukan dengan melihat ada atau tidaknya gejala klorosis khas bulai atau tanda berupa propagul masa konidium yang mirip seperti tepung pada permukaan daun. Jumlah tanaman jagung yang terinfeksi dimasukkan ke dalam rumus perhitungan insidensi penyakit.

$$IP = \frac{n}{N} \times 100\%, \text{ dengan}$$

n, jumlah tanaman yang terserang; dan N, jumlah tanaman yang diamati.

Analisis Data

Data hasil pengamatan morfologi berupa ukuran 30 sampel konidium dan 30 konidiofor dari setiap strain dianalisis menggunakan metode analisis kluster hirarki *agglomerative* menggunakan program R-Studio. Klusterisasi ditentukan menjadi 2 kluster berdasarkan kriteria kemiripan karakteristik morfologi setiap strain sampel *Peronosclerospora* dan mengacu pada karakteristik morfologi *P. maydis* dan/atau *P. philippinensis* (CIMMYT 2012). Sedangkan analisis data statistik tingkat patogenisitas strain diambil berdasarkan nilai persentase insidensi penyakit yang dianalisis dengan analisis sidik ragam (Anova). Program analisis yang digunakan ialah SPSS 21. Apabila hasil uji F pada nilai insidensi penyakit strain menunjukkan hasil yang berbeda nyata maka

dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan pada taraf nyata 5%.

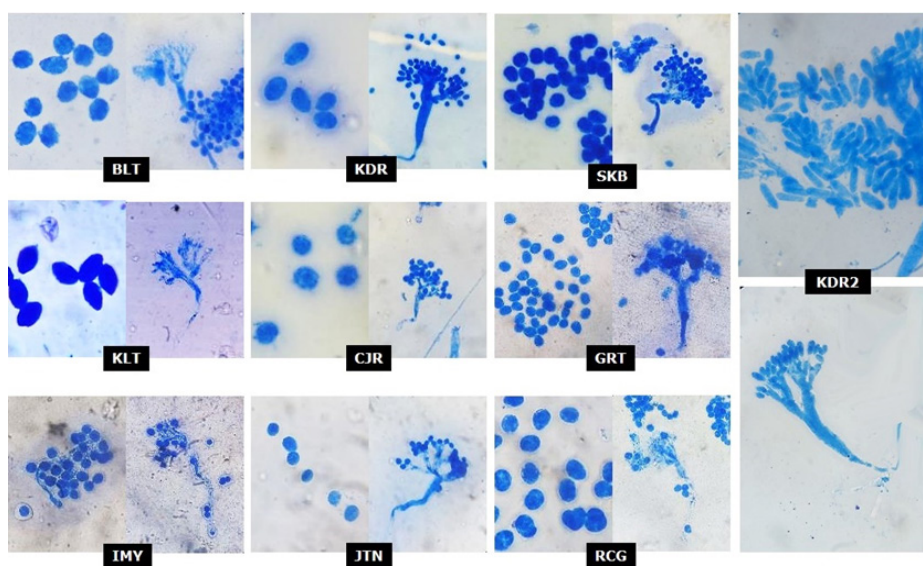
HASIL

Karakteristik Morfologi Strain *Peronosclerospora* spp.

Diperoleh 10 strain *Peronosclerospora* spp yang berasal dari sampel asal Cianjur, Garut, Indramayu, Sukabumi, Sumedang, Klaten, Kediri, dan Blitar. Karakteristik morfologi hasil pengamatan pada 30 konidium dan 30 konidiofor menunjukkan adanya perbedaan dari setiap sampel strain *Peronosclerospora* spp. (Gambar 1). Selain itu, karakteristik morfologi dari setiap strain juga menunjukkan adanya perbedaan satu sama lain (Tabel 1). Strain *Peronosclerospora* yang ditemukan umumnya memiliki karakter morfologi *P. maydis*, kecuali sampel asal Kediri (KDR2) ditemukan adanya populasi yang berbeda dengan *P. maydis* dan mengarah pada *P. philippinensis*.

Variasi Morfometri Strain *Peronosclerospora* spp.

Mengacu pada data morfologi dari data morfometri minimum dan maksimum panjang × lebar konidium dan konidiofor masing-masing strain *Peronosclerospora* spp.



Gambar 1 Karakteristik morfologi isolat *Peronosclerospora* spp. asal sentra produksi jagung di Pulau Jawa. BLT, Blitar; KDR, Kediri; SKB, Sukabumi; KLT, Klaten; CJR, Cianjur; GRT, Garut; IMY, Indramayu; JTN, Jatinangor-Sumedang; RCG, Rancakalong-Sumedang; dan KDR2, Kediri.

(Tabel 1) didapatkan dendrogram hasil analisis klaster (Gambar 2). Data morfometri strain-strain *Peronosclerospora* spp. menghasilkan 2 klaster utama, yaitu klaster A dan klaster B. Klaster A hanya terdiri atas strain KDR2 asal Kediri dan spesies pembanding yaitu *P. philippinensis*. Klaster B terdiri atas sembilan strain RCG asal Rancakalong Sumedang, strain JTN asal Jatinangor Sumedang, IMY (Indramayu), CJR (Cianjur), BLT (Blitar), SKB (Sukabumi), KDR (Kediri), GRT (Garut), dan KLT (Klaten). Sembilan strain *Peronosclerospora* pada klaster B bergabung dengan spesies pembanding, yaitu *P. maydis*.

Hasil analisis klaster menunjukkan jika strain KDR2 (klaster A) memiliki variasi yang jelas dibandingkan dengan strain lainnya. Hal ini disebabkan Klaster A berada pada klaster tersendiri (*outgroup*) dan bergabung bersama spesies pembanding (*P. philippinensis*). Strain yang tergabung dalam klaster B memiliki bentuk morfologi konidium yang bulat (*spherical*) hingga agak bulat (*subspherical*) yang mengarah pada spesies *P. maydis*, meskipun di dalamnya juga menunjukkan variasi satu sama lain. Variasi dari strain-strain *P. maydis* tersebut dapat dilihat dari dihasilkannya dua subklaster, yaitu B1 dan B2 (Gambar 2). Selain itu, pada semua strain *Peronosclerospora* spp. yang didapatkan pada klaster A dan B menunjukkan ketidakmiripan berdasarkan pengukuran jarak *euclidean*. Hal ini ditunjukkan berdasarkan nilai ketinggian (*height*) yang berbeda satu sama lain.

Tingkat Patogenisitas Strain *Peronosclerospora* spp.

Tingkat patogenisitas setiap strain ditentukan berdasarkan pada munculnya gejala atau tanda penyakit bulai (Gambar 3). Nilai insidensi penyakit bulai pada tanaman jagung yang diinokulasi dengan strain *Peronosclerospora* spp. asal 9 daerah sentra produksi di Pulau Jawa bervariasi (Tabel 2). Strain KLT asal Klaten (*P. maydis*) merupakan strain yang paling patogenik karena menghasilkan nilai persentase insidensi penyakit tertinggi sebesar 47.92%. Sedangkan strain IMY asal Indramayu (*P. maydis*)

insidensi penyakitnya hanya 8.33%. Secara berurutan nilai insidensi penyakit tertinggi hingga terendah disebabkan oleh strain berkode KLT (Klaten), BLT (Blitar), JTN (Jatinangor Sumedang), GRT (Garut), KDR (Kediri), SKB (Sukabumi), CJR (Cianjur), RCG (Rancakalong Sumedang), dan IMY (Indramayu).

PEMBAHASAN

Karakteristik morfologi, morfometri dan tingkat patogenisitas setiap strain *Peronosclerospora* spp. asal 9 daerah sentra produksi jagung di Pulau Jawa memiliki variasi yang jelas. Variasi tersebut disebabkan adanya variabilitas intraspesifik morfologi aseksual seperti konidium dan konidiofor dari spesies-spesies *Peronosclerospora* (Shivas *et al.* 2012). Variasi morfologi dan morfometri dipengaruhi oleh kondisi iklim, jenis tanaman inang dan jenis varietas tanaman (Telle *et al.* 2011). Tempat pengambilan sampel memiliki perbedaan kondisi iklim mikro di sekitar pertanaman yang diduga berpengaruh terhadap morfologi strain *Peronosclerospora*. Kondisi agar *Peronosclerospora* spp. dapat bersporulasi optimal ialah pada suhu 18–30 °C dengan kondisi lembap 5–6 jam (Bonde *et al.* 1992).

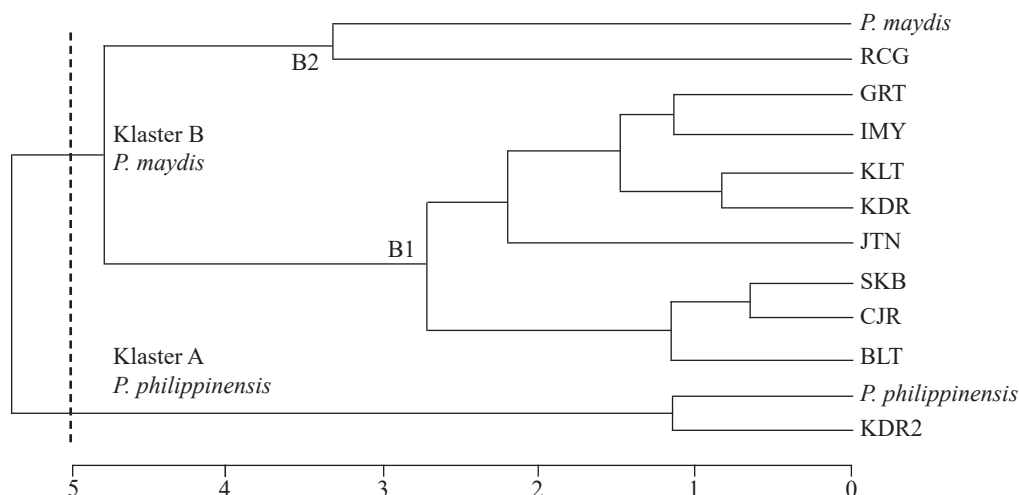
Berdasarkan bentuk konidianya, strain KDR2 asal Kediri Jawa Timur identik dengan karakteristik morfologi konidium *P. philippinensis*, yaitu berbentuk lonjong (*ovoid*) hingga silindris. Berbeda dengan spesies *P. maydis* yang konidiumnya bulat (*spherical*) hingga agak bulat (*subspherical*). Penentuan tersebut didasarkan pada acuan dari deskripsi CIMMYT (2012).

P. philippinensis mulanya ditemukan di Sulawesi Utara, Gorontalo, dan Sulawesi Selatan. Ditemukannya spesies *P. philippinensis* di Kediri Jawa Timur menunjukkan adanya kemungkinan perubahan sebaran spesies di Indonesia. Perubahan sebaran *P. philippinensis* diduga karena adanya pengaruh penyebaran inokulum *P. philippinensis* yang berasal dari daerah endemik. Inokulum *P. philippinensis* diketahui dapat menyebar melalui benih dan

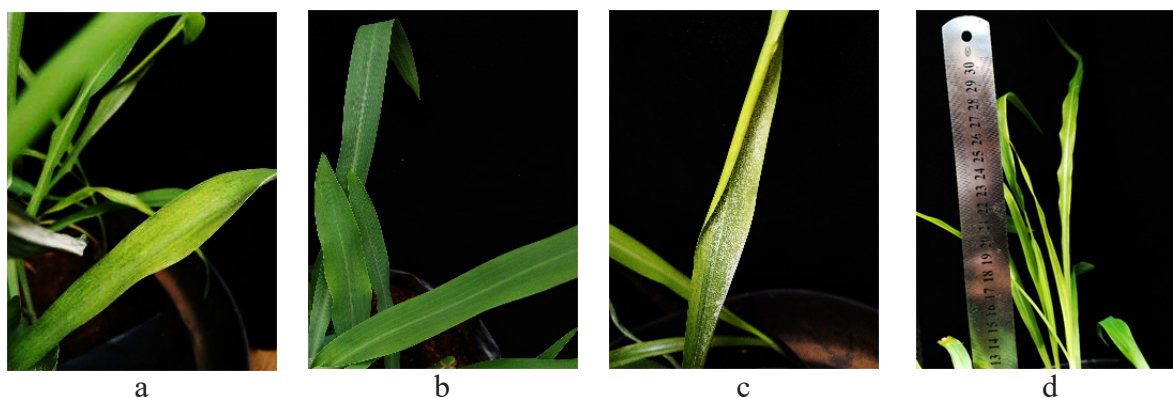
Tabel 1 Karakteristik morfologi strain *Peronosclerospora* spp. asal sentra produksi jagung di Pulau Jawa

Parameter	BLT	KDR	KDR2	KLT	CJR	GRT	IMY	JTN	RCG	SKB
Konidium										
Bentuk	<i>Sph, Ssph</i> Tipis	<i>Sph, Ssph</i> Tipis	Oval Tipis	<i>Sph, Ssph</i> Tipis	<i>Sph, Ssph</i> Tipis	<i>Sph, Ssph</i> Tipis	<i>Sph, Ssph</i> Tipis	<i>Sph, Ssph</i> Tipis	<i>Sph, Ssph</i> Tipis	<i>Sph, Ssph</i> Tipis
Dinding sel	7.78 × 7.65 –	9.98 × 9.06 –	15.54 × 8.50 –	10.63 × 9.82 –	7.626 × 8.13 –	10.01 × 9.49 –	10.51 × 10.08 –	10.12 × 7.73 –	12.88 × 12.88 –	6.32 × 7.97 –
Dimensi (p × l (µm))	17.17 × 8.38	18.18 × 11.03	25.76 × 9.26	17.07 × 12.84	15.00 × 10.59	18.99 × 11.11	20.33 × 14.48	21.64 × 14.31	23.52 × 14.11	16.14 × 10.70
Konidiofor										
Σ Cabang	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Σ Percabangan	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4	2-4
Dimensi (panjang (µm))	114.415– 280.382	123.289 – 240.178	156.440 – 295.199	120.420 – 207.618	102.530 - 306.795	103.023 – 215.344	110.829 – 200.116	103.905 – 266.144	113.802 – 314.232	105.148 – 218.718
Spesies	<i>P. maydis</i>	<i>P. maydis</i>	<i>P. philippinensis</i>	<i>P. maydis</i>	<i>P. maydis</i>	<i>P. maydis</i>	<i>P. maydis</i>	<i>P. maydis</i>	<i>P. maydis</i>	<i>P. maydis</i>

Keterangan: Sph = spherical (bulat), Ssph = subspherical (agak bulat), BLT = Blitar, KDR = Kediri, KDR2 = Kediri 2, KLT = Klaten, CJR = Cianjur, GRT = Garut, IMY = Indramayu, JTN = Jatinangor, RCG = Rancakalong, SKB = Sukabumi



Gambar 2 Dendrogram variasi morfometri strain *Peronosclerospora* spp. asal sentra produksi Pulau Jawa yaitu BLT (Blitar), KDR (Kediri), SKB (Sukabumi), KLT (Klaten), CJR (Cianjur), GRT (Garut), IMY (Indramayu), JTN (Jatinangor Sumedang), RCG (Rancakalong Sumedang), dan KDR2 (Kediri) hasil analisis metode kluster hirarki *agglomerative*.



Gambar 3 Tanaman jagung di rumah kaca. a, Tanaman yang terinfeksi penyakit bulai dengan gejala klorotik sejajar dengan tulang daun; b, Tanaman sehat; c, Propagul masa konidium *Peronosclerospora* spp. pada permukaan bawah daun; d, Kondisi tanaman terinfeksi bulai pada 14 HST

Tabel 2 Insidensi penyakit bulai (%) yang disebabkan oleh strain *Peronosclerospora* spp. asal sentra produksi jagung di Pulau Jawa pada 35 HST

Kode strain	Insidensi penyakit (%)
Kontrol (tanpa inokulasi)	0.00 a
BLT	25.00 c
KDR	16.67 bc
KLT	47.92 d
CJR	12.50 bc
GRT	16.67 bc
IMY	8.33 b
JTN	25.00 c
RCG	12.50 bc
SKB	14.58 bc

Keterangan: BLT (Blitar), KDR (Kediri), KLT (Klaten), CJR (Cianjur), GRT (Garut), IMY (Indramayu), JTN (Jatinangor), RCG (Rancakalong), dan SKB (Sukabumi); Huruf yang sama pada satu kolom insidensi penyakit menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada setiap perlakuannya berdasarkan Uji Duncan taraf 5%

melalui perantara angin. Menurut Brown (1997) penyebaran dan penularan penyakit yang dibawa oleh patogen tular benih atau terbawa udara dapat terjadi secara acak meskipun sumber inokulum jaraknya cukup jauh. Perpindahan benih jagung antar daerah di Indonesia diduga turut berperan dalam penyebaran spesies *Peronosclerospora* di Indonesia.

Adanya variasi persentase insidensi penyakit diduga karena adanya pengaruh faktor virulensi yang berbeda dari setiap strain *Peronosclerospora* spp. Umumnya cendawan patogen memiliki beberapa faktor virulensi, yaitu *phenotypic switching* atau perubahan bentuk morfologi, dihasilkannya molekul adhesi, sekresi enzim hidrolitik, toksin ekstraseluler dan efektor (Kurokawa *et al.* 1998; Lestari 2010; Jiang dan Tyler 2012). Namun, pembahasan penelitian ini lebih ditekankan pada hubungan variasi morfometri yang memengaruhi tingkat patogenisitas strain *Peronosclerospora* spp..

Meskipun *Peronosclerospora* spp. sudah dikeluarkan dari golongan cendawan, tetapi mekanisme infeksi cendawan dan Oomycete pada tanaman memiliki banyak kesamaan (Latijnhouwers *et al.* 2003). Perbedaan bentuk morfologi pada cendawan patogen dapat berhubungan erat dengan mekanisme interaksi patogen dengan tanaman inang untuk memaksimalkan proses infeksi (Francisco *et al.* 2018). Perubahan bentuk hifa menjadi contoh perubahan morfologi pada cendawan patogen karena berperan dalam mengatasi hambatan fisik, mengkolonisasi pada jaringan tanaman, dan menghindari lingkungan tidak sesuai yang dihasilkan oleh tanaman inang (Brand 2012; Lin *et al.* 2015). Menurut Wang dan Lin (2012) perubahan morfologi pada eukariot seperti cendawan diperlukan untuk mendukung terjadinya penyakit pada inang, di antaranya ialah dengan mengubah ukuran sel.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi SR, Widiyanti F, Yulia E. 2019. Metode inokulasi buatan untuk menguji infeksi *Peronosclerospora maydis* penyebab penyakit bulai tanaman jagung. *J Agro.* 6(1):77–86. DOI: <https://doi.org/10.15575/4409>.
- Aqil M, Rapar C, Zubachtirodin. 2012. *Deskripsi Varietas Unggul Jagung*. Ed ke-7. Maros (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pertanian Kementerian Pertanian.
- [BBPOPT] Balai Besar Peramalan Organisme Pengganggu Tumbuhan. 2018. *Evaluasi dan Prakiraan Serangan Organisme Pengganggu Tumbuhan Utama Padi, Jagung dan Kedelai MT 2017/2018 di Indonesia*. Karawang (ID): Balai Besar Peramalan Organisme Pengganggu Tumbuhan.
- Bock CH, Jeger MJ, Mughogho LK, Cardwell KF, Mtisi E, Kaula G, Mukansabimana D. 2000. Variability of *Peronosclerospora sorghi* isolates from different geographic locations and hosts in Africa. *Mycol Res.* 104(1):61–68. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0953756299008965>.
- Bonde MR. 1982. Epidemiology of downy mildew diseases of maize, sorghum and pearl millet. *Trop Pest Manag.* 28(1):49–60. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670878209370674>.
- Bonde MR, Peterson GL, Kenneth RG, Vermeulen HD, Sumartini, Bustaman M. 1992. Effect of temperature on conidial germination and systemic infection of maize by *Peronosclerospora* species. *Ecol Epidemiology.* 82(1):104–109. DOI: <https://doi.org/10.1094/Phyto-82-104>.
- Brand A. 2012. Hyphal growth in human fungal pathogens and its role in virulence. *Int J Microbiol.* 2012(1):1–11. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/517529>.
- Brown J. 1997. Survival and dispersal of plant parasites: general concepts. Di dalam: Brown JF, Ogle HJ, editor. *Plant Pathogens and Plant Diseases*. Armidale (AU): Rocklave Publications.
- Burhanuddin. 2011. Identifikasi cendawan penyebab penyakit bulai pada tanaman jagung di Jawa Timur dan Pulau Madura. *Suara Perlindungan Tanaman*, 1(1):21–25.

- [CIMMYT] International Maize and Wheat Improvement Center. 2012. Downy mildew (extended information). <http://maizedoctor.org/downy-mildew-extended-information> [diakses 24 Ags 2018].
- Francisco CS, Ma X, Zwysig MM, McDonald BA, Palma-Guerrero J. 2018. Differential morphological changes in response to environmental stimuli in a fungal plant pathogen. *BioRxiv*. 1(1):1–44. DOI: <https://doi.org/10.1101/372078>.
- Hikmawati, Kuswinanti T, Melina, Pabendon MB. 2011. Karakterisasi morfologi *Peronosclerospora* spp., penyebab penyakit bulai pada tanaman jagung, dari beberapa daerah di Indonesia. *J Fitomedika*. 7(3):159–161.
- Hyde KD, Abd-Elsalam K, Cai L. 2011. Morphology: still essential in a molecular world. *Mycotaxon*. 114(1):439–451. DOI: <https://doi.org/10.5248/114.439>.
- Jiang RHY, Tyler BM. 2012. Mechanisms and evolution of virulence in oomycetes. *Annu Rev Phytopathol*. 50(1):295–318. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-081211-172912>.
- Kumar P, Akhtar J, Kandan A, Kumar S, Batra R, Dubey SC. 2016. Advance detection techniques of phytopathogenic fungi: current trends in plant disease diagnostics and management practices. Di dalam: Kumar P, Gupta V, Tiwari A, Kamle M, editor. *Fungal Biology*. Swiss (CH): Springer International Publishing. hlm 265–298. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27312-9>.
- Kurokawa CS, Sugizaki MF, Peracoli MTS. 1998. Virulence factors in fungi of systemic mycoses. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*. 40(3):125–135. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0036-46651998000300001>.
- Latijnhouwers M, de Wit PJGM, Govers F. 2003. Oomycetes and fungi: Similar weaponry to attack plants. *Trends Microbiol*. 11(10):462–469. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2003.08.002>.
- Lestari PE. 2010. Peran faktor virulensi pada patogenesis infeksi *Candida albicans*. *Stomatognathic*. 7:113–117.
- Lin X, Alspaugh JA, Liu H, Harris S. 2015. *Fungal Morphogenesis*. Ed ke-1. Casadevall A, Mitchell AP, Berman J, Kwon-Chung KJ, Perfect JR, Heitman J, Editor. New York (US): Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Muis A, Nonci N, Pabendon MB. 2016. Geographical distribution of *Peronosclerospora* spp., the causal organism of maize downy mildew, in Indonesia. *AAB Bioflux*. 8(3):143–155.
- Muis A, Suriani, Kalqunty SH, Nonci N. 2018. *Penyakit Bulai pada Tanaman Jagung dan Upaya Pengendaliannya*. Ed ke-1. Sleman (ID): Penerbit Deepublish.
- Pusdatin. 2017. *Outlook Tanaman Pangan dan Hortikultura 2017*. Jakarta (ID): Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian.
- Rustiani US. 2015. Keragaman dan pemetaan penyebab penyakit bulai jagung di 13 provinsi Indonesia [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rustiani US, Sinaga MS, Hidayat SH, Wiyono S. 2015. Tiga spesies *Peronosclerospora* penyebab penyakit bulai jagung di Indonesia. *Berita Biologi*. 14(1):29–37.
- ShivasRG, RyleyMJ, TelleS, LiberatoJR, Thines M. 2012. *Peronosclerospora australiensis* sp. nov. and *Peronosclerospora sargae* sp. nov., two newly recognized downy mildews in northern Australia, and their biosecurity implications. *Australas Plant Pathol*. 41(2):125–130. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13313-011-0097-z>.
- Telle S, Shivas RG, Ryley MJ, Thines M. 2011. Molecular phylogenetic analysis of *Peronosclerospora* (Oomycetes) reveals cryptic species and genetically distinct species parasitic to maize. *Eur J Plant Pathol*. 130(4):521–528. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10658-011-9772-8>.
- Wang L, Lin X. 2012. Morphogenesis in fungal pathogenicity: Shape, size, and surface. *PLoS Pathogens*. 8(12):e1003027. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003027>.
- Widiantini F, Pitaloka DJ, Nasahi C, Yulia E. 2017. Perkecambahan *Peronosclerospora*

spp. asal beberapa daerah di Jawa Barat pada fungisida berbahan aktif metalaksil, dimetomorf, dan fenamidon. *J Agrikultura*. 28(2):95–102. DOI: <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v28i2.15753>.

Widiantini F, Yulia E, Purnama T. 2015. Morphological variation of

Peronosclerospora maydis, the causal agent of maize downy mildew from different locations in Java-Indonesia. *J Agric Eng Biotechnol*. 3(2):23–27. DOI: <https://doi.org/10.18005/JAEB0302002>.